

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-256657  
(43)Date of publication of application : 25.09.1998

(51)Int.Cl.

H01S 3/18  
H01L 33/00

(21)Application number : 09-052596  
(22)Date of filing : 07.03.1997

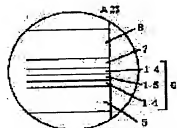
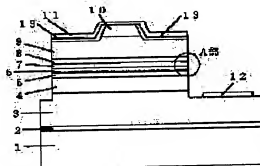
(71)Applicant : SHARP CORP  
(72)Inventor : OKUMURA TOSHIYUKI

## (54) GALLIUM NITRIDE BASED SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT AND SEMICONDUCTOR LASER LIGHT SOURCE DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain excellent laser oscillation characteristics and high output, by forming a quantum well structure active layer of two quantum well layers and a barrier layer surrounded by the quantum well layers.

**SOLUTION:** A buffer layer 2 is grown on a substrate 1. A contact layer 3 is grown. An N-type clad layer 4 is grown. A P-GaN guide layer 5 is grown. An InGaN quantum well layer 14, and an InGaN barrier layer 15 and an InGaN quantum well layer 14 are laminated in order, so that a multiple quantum well structure active layer 6 is formed. A P-GaN guide layer 8 is grown. A P-type contact layer 10 is grown, and a gallium nitride based epitaxial wafer is completed. In a blue LD element formed in the above process, laser characteristics wherein an oscillation wavelength is 430nm and an oscillation threshold current is 40mA can be obtained, and the optical output is modulated by injecting a high frequency current.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination]  
[Date of sending the examiner's decision of rejection]  
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]  
[Date of final disposal for application]  
[Patent number]  
[Date of registration]  
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

04.03.2004

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-256657

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

審査請求 未請求 請求項の数 8 ○ L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-52596

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月7日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番2号

(72) 発明者 奥村 敏之

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番2号

シャープ株式会社内

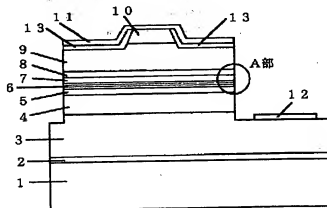
(74) 代理人 弁理士 梅田 勝

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系半導体発光素子、及び半導体レーザ光源装置

(57) 【要約】

【課題】 窒化ガリウム系半導体発光素子において、良好なレーザ発振特性を有する半導体レーザ素子、および、高い光出力が得られる発光ダイオード素子を提供する。

【解決手段】 窒化物半導体からなるクラッド層4、9及び/又はガイド層5、28に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体の量子井戸構造活性層を形成する。量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層14、14とこれらに挟まれた1層の障壁層15の合計3層から形成される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから形成されることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項2】 窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから半導体レーザの発振部を形成してなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体レーザ素子。

【請求項3】 窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから発光ダイオードの発光部を形成してなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項4】 量子井戸層の厚さが、10nm以下であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項5】 障壁層の厚さが、10nm以下であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

【請求項6】 窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから形成される窒化ガリウム系半導体レーザ素子と、前記半導体レーザに高周波数変調された電流を注入する駆動回路とからなることを特徴とする半導体レーザ光源装置。

【請求項7】 変調周波数は300MHz以上であることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ光源装置。

【請求項8】 窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから自励発振型のレーザ発振部を形成してなることを特徴とする請求項2、4または5に記載の窒化ガリウム系半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム系半導体発光素子に係り、特に、窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備えた発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】紫外から緑色の波長領域での発光波長を有する半導体レーザ素子(LED)や発光ダイオード素子(LED)等の半導体材料として、窒化ガリウム系半導体(GaNAlN)が用いられている。この窒化ガリウム系半導体を用いた青色LEDは、例えば、Applied Physics Letters, vol.69, No.10, p.1477~1479に記載されており、その断面図を図10に示す。

【0003】図10において、101はサファイア基板、102はGaNバッファ層、103はn-GaNコンタクト層、104はn-In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層、105はn-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nクラッド層、106はn-GaNガイド層、107はIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層とIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層とからなる多重量子井戸構造活性層、108はp-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層、109はp-GaNガイド層、110はp-Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nクラッド層、111はp-GaNコンタクト層、112はp側電極、113はn側電極、114はSiO<sub>2</sub>絶縁膜である。ここで、多重量子井戸構造活性層107は、3nm厚のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層が5層、6nm厚のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層が4層、の合計9層で構成され、量子井戸層と障壁層が交互に形成されている。

【0004】この他、特開平8-316528にも同様に窒化ガリウム系半導体を用いた青色LEDが記載されているが、これらはいずれも5層以上の量子井戸層を持つ多重量子井戸構造活性層が用いられていた。

【0005】一方、窒化ガリウム系半導体を用いた青色LEDは、例えば、上記の特開平8-316528号公報に記載されており、その断面図を図11に示す。図11において、121はサファイア基板、122はGaNバッファ層、123はn-GaNコンタクト層、124はn-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N第2n型クラッド層、125はn-In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>GaN第1n型クラッド層、126は3nm厚のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N単一量子井戸構造活性層、127はp-In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>GaN第1p型クラッド層、128はp-Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N第2p型クラッド層、129はp-GaNコンタクト層、130はp側電極、131はn側電極ある。このように窒化ガリウム系半導体を用いた青色LEDでは、1層のみの量子井戸層を有する活性層が用いられていた。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら従来の前記青色LED及び青色LED素子はそれぞれ以下のような問題点があった。

【0007】まず、青色LEDに関しては発振閾値電流値が100mA以上と高く、光ディスク等の情報処理用として実用に供するためには大幅に発振閾値電流値を低減する必要がある。さらに光ディスク用としてLEDを用いる場合、データの読み出し時における雑音によるデータ

の読み出しエラーを防止するために周波数300MHz程度の高周波電流をLEDに注入し、光出力を同じ周波数で変調する必要があるが、従来の青色LEDでは高周波電流を注入しても光出力が変調されないため、データの読み出しエラーを生じるという問題があった。

【0008】また、青色LEDに関してはすでに実用化されているもの、例えば、広い視野角でも明るく表示できる大型カラーディスプレイ等のように、さらに広範囲にわたる用途に青色LED素子を供していくためには、光出力の向上によるより一層高輝度なLEDの実現が望まれている。

【0009】本発明は以上のような事情に鑑みてなされたものであり、上記窒化ガリウム系半導体発光素子における課題を解決して、良好なレーザ発振特性を有する半導体レーザ素子、及び、高い光出力が得られる発光ダイオード素子を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】請求項1に記載の発明は、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから形成されることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子である。

【0011】請求項2に記載の発明は、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから半導体レーザの発振部を形成してなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子である。

【0012】請求項3に記載の発明は、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから発光ダイオードの発光部を形成してなることを特徴とする窒化ガリウム系半導体発光素子である。

【0013】請求項4に記載の発明は、量子井戸層の厚さが、10nm以下であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系半導体発光素子である。

【0014】請求項5に記載の発明は、障壁層の厚さが、10nm以下であることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系半導体発光素子である。

【0015】請求項6に記載の発明は、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層

は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから形成される窒化ガリウム系半導体レーザ素子と、前記半導体レーザに高周波数変調された電流を注入する駆動回路とからなることを特徴とする半導体レーザ光源装置である。

【0016】請求項7に記載の発明は、変調周波数は300MHz以上であることを特徴とする請求項6に記載の半導体レーザ光源装置である。

【0017】請求項8に記載の発明は、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とから自励発振型のレーザ発振部を形成してなることを特徴とする請求項2ないし4または5に記載の窒化ガリウム系半導体発光素子である。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明に係る窒化ガリウム系半導体発光素子の構成は、窒化物半導体からなるクラッド層及び／又はガイド層に挟まれた、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる量子井戸構造活性層を備え、前記量子井戸構造活性層は2層の量子井戸層とこれらに挟まれた1層の障壁層とからなる。

【0019】このような本発明を見い出すにあたって、本発明者は従来素子における前記課題の原因について詳細に調査を行い、以下のことが判明した。

【0020】まず、青色LEDに関しては、量子井戸層として用いられるInGaN材料は、電子・正孔ともにその有効質量が大きいことと多数の結晶欠陥が存在していることにより電子や正孔の移動度が大幅に低下し、多重量子井戸構造活性層のすべての量子井戸層に電子と正孔とが均一に分布しなくなる。即ち、電子を注入するn型クラッド層側の量子井戸層2層程度にしか電子は注入されず、正孔を注入するp型クラッド層側の量子井戸層2層程度にしか正孔は注入されない。従って、量子井戸層が5層以上の多重量子井戸構造活性層では、電子と正孔とが同一の量子井戸層内に存在する割合が小さいため、電子と正孔の再結合による発光の効率が低下し、レーザ発振の閾値電流値を増大させてしまっている。

【0021】またこのように電子や正孔の移動度が小さいため量子井戸層の間での電子や正孔の移動が遅くなり、再結合によって電子・正孔が消滅した量子井戸層内へ新たに電子と正孔が注入されず、クラッド層に近接する量子井戸層に注入された電子・正孔がそのままの量子井戸層内に存在し続けることになる。従って、注入電流を変調しても量子井戸層内に存在する電子と正孔の密度が変調されないことになり、このため高周波電流を注入しても光出力が変調されなくなっていた。

【0022】従って本発明では、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる多重量子井戸構

造活性層における量子井戸層の層数を2とすることによって、すべての量子井戸層に電子と正孔とを均一に分布させるようにした。この結果、発光効率が向上して共振閾値電流値を低減させることができた。さらに、再結合によって電子・正孔が消滅した量子井戸層内への電子と正孔の注入が効果的に行われるので、高周波電流の注入により量子井戸層内に存在する電子と正孔の密度も変動され、その結果、光出力も変動されることが可能となった。

【0023】このようにすべての量子井戸層に電子と正孔とを均一に分布させるにあたっては、量子井戸層の層厚が厚すぎると、均一に電子と正孔を分布させることが阻害されてしまうため、量子井戸層の厚さは1.0nm以下であることが好ましい。

【0024】さらに同様に、障壁層の層厚が厚すぎると、均一に電子と正孔を分布させることが阻害されてしまうため、障壁層の厚さは1.0nm以下であることが好ましい。

【0025】一方青色LEDに関しては、現在実用化されている素子の電流-光出力特性は図9に示されるように電流を注入していくにつれて飽和する傾向がある。従来青色LEDでは量子井戸活性層は1層のみであり、注入された電子と正孔はともにこの1層の量子井戸層に存在するが、注入量を増大すると、量子井戸層を形成するInGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>半導体材料の電子・正孔の有効質量が大きいため、注入された電子や正孔の運動量空間内で分布が大きくなり、発光効率が低下してしまう。そこで本発明のように、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる多重量子井戸構造活性層における量子井戸層の層数を2とすることによって、注入された電子と正孔は2つの量子井戸層に分割されるため、量子井戸層1層当りに存在する電子と正孔の密度が低減され、運動量空間内で電子や正孔の分布を低減できた。その結果、電流-光出力特性における飽和する傾向は改善され、光出力の向上によるより高輝度な窒化ガリウム系LED素子が実現される。

【0026】以下、具体例に従ってさらに詳細に説明する。

【0027】(第1実施例)図1は本発明の第1実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子を示す断面図であり、図2は図1中のA部を拡大した断面図である。

【0028】この図において、1はc面を表面として有するサファイア基板、2はGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>バッファ層、3はn-Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>型コンタクト層、4はn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>型クラッド層、5はn-Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>ガイド層、6は2層のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N<sub>0.2</sub>量子井戸層14と1層のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N<sub>0.05</sub>障壁層15とからなる多重量子井戸構造活性層、7はAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N<sub>0.2</sub>蒸発防止層、8はp-Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>ガイド層、9はp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>型クラッド層、10はp-Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>型コンタクト層、11はp側電極、12

はn側電極、13はSiO<sub>2</sub>絶縁膜である。

【0029】本実施例において、サファイア基板1の表面はa面、r面、m面等の他の面方位であっても構わない。また、サファイア基板に限らずSiC基板、スピネル基板、MgO基板、Si基板、またはGaAs基板も用いることが出来る。特にSiC基板の場合はサファイア基板に比べて劈開しやすいため、劈開によるレーザ共振器端面の形成が容易であるという利点がある。バッファ層2はその上に窒化ガリウム系半導体をエピタキシャル成長させることが出来るものであればGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>にこだわらず他の材料、例えばAlNやAlGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>三元混晶を用いてもよい。

【0030】n型クラッド層4及びp型クラッド層9は、n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N<sub>0.1</sub>以外のAl組成を持つAlGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>三元混晶でもよい。この場合Al組成を大きくすると活性層とクラッド層とのエネルギーギャップ差及び屈折率差が大きくなり、キャリアや光が活性層に有効に閉じ込められてさらに発振閾値電流の低減及び、温度特性の向上が図れる。またキャリアや光の閉じ込めが保持される程度でAl組成を小さくしていくと、クラッド層におけるキャリアの移動度が大きくなるため、半導体レーザ素子の素子抵抗を小さくできる利点がある。さらにこれらのクラッド層は微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよく、n型クラッド層4とp型クラッド層9とで混晶の組成が同一でなくても構わない。

【0031】ガイド層5とは、そのエネルギーギャップが、多重量子井戸構造活性層6を構成する量子井戸層のエネルギーギャップとクラッド層4、9のエネルギーギャップの間の値を持つような材料であればGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>にこだわらず他の材料、例えばInGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>、AlGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>等の三元混晶やInGa<sub>0.5</sub>Al<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>等の4元混晶等を用いてもよい。またガイド層全体にわたってドナー又はアクセプターをドーピングする必要はなく、多重量子井戸構造活性層6側の一部のみをノンドープとしてもよく、さらにはガイド層全体をノンドープとしてもよい。この場合、ガイド層に存在するキャリアが少なくなり、自由キャリアによる光の吸収が低減されて、さらに発振閾値電流が低減できるという利点がある。

【0032】多重量子井戸構造活性層6を構成する2層のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N<sub>0.2</sub>量子井戸層14と1層のIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N<sub>0.05</sub>障壁層15は、必要なレーザ発振波長に応じてその組成を設定すればよく、発振波長を長くしたい場合は量子井戸層14のIn組成を大きくし、短くしたい場合は量子井戸層14のIn組成を小さくする。また量子井戸層14と障壁層15は、InGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>三元混晶に微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよい。さらに障壁層15は単にGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>を用いてもよい。

【0033】次に、図1と図2を参照して、上記窒化ガリウム系半導体レーザの作製方法を説明する。以下の説明ではMOCVD法(有機金属気相成長法)を用いた場

合を示しているが、GaNをエピタキシャル成長できる成長法であればよく、MBE法（分子線エピタキシャル成長法）やHDVPE（ハイドライド気相成長法）等の他の気相成長法を用いることもできる。

【0034】まず所定の成長炉内に設置された、c面を表面として有するサファイア基板1上に、トリメチルガリウム（TMG）とアンモニア（NH<sub>3</sub>）を原料に用いて、成長温度550℃でGaNPバッファ層2を35nm成長させる。

【0035】次に成長温度を1050℃まで上昇させて、TMGとNH<sub>3</sub>、及びシランガス（SiH<sub>4</sub>）を原料に用いて、厚さ3μmのSiドープn-GaN型コンタクト層3を成長する。さらに続けてトリメチルアルミニウム（TMA）を原料に加え、成長温度は1050℃のままで厚さ0.7μmのSiドープn-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N型クラッド層4を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は1050℃のままで厚さ0.05μmのSiドープn-GaNガイド層5を成長する。

【0036】次に、成長温度を750℃に下げ、TMGとNH<sub>3</sub>、及びトリメチルインジウム（TMI）を原料に用いて、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N量子井戸層（厚さ5nm）14、In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層（厚さ5nm）15、In<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸層（厚さ5nm）14を順次成長することにより多重量子井戸構造活性層（トータル厚さ15nm）6を作成する。さらに続けてTMGとTMAとNH<sub>3</sub>を原料に用いて、成長温度は750℃のままで厚さ10nmのAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N蒸発防止層7を成長する。

【0037】次に、再び成長温度を1050℃に上昇して、TMGとNH<sub>3</sub>、及びシクロペンタジエニルマグネシウム（Cp<sub>2</sub>Mg）を原料に用いて、厚さ0.05μmのMgドープp-GaNガイド層8を成長する。さらに続けてTMAを原料に加え、成長温度は1050℃のままで厚さ0.7μmのMgドープp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N型クラッド層9を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は1050℃のままで厚さ0.2μmのMgドープp-GaN型コンタクト層10を成長し、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハーを完成する。

【0038】その後、このウエハーを800℃の窒素ガス雰囲気中でアニールして、Mgドープのp型層を低抵抗化する。

【0039】さらに通常のフォトリソグラフィとドライエッチング技術を用いて、200μm幅のストライプ状にp-GaN型コンタクト層10の最表面から、n-GaN型コンタクト層3が露出するまでエッチングを行う。次に、上記と同様のフォトリソグラフィとドライエッチング技術を用いて、残ったp-GaN型コンタクト層10の最表面に、5μm幅のストライプ状に

リッジ構造を形成するようにp-GaN型コンタクト層10、及びp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N型クラッド層9をエッチングする。

【0040】続いて、リッジの側面とリッジ以外のp型層表面に厚さ200nmのSiO<sub>2</sub>絶縁膜13を形成する。このSiO<sub>2</sub>絶縁膜13とp-GaN型コンタクト層10の表面にニッケルと露出したn-GaN型コンタクト層3の表面にチタンとアルミニウムからなるn側電極12を形成して、窒化ガリウム系LDウエハーを完成する。

【0041】その後、このウエハーをリッジストライプに垂直な方向に劈開してレーザの共振器端面を形成し、さらに個々のチップに分割する。そして、各チップをシステムにマウントし、ワイヤーボンディングにより各電極とリード端子とを接続して、窒化ガリウム系半導体レーザ素子を完成する。

【0042】以上のようにして作製された青色LD素子は、発振波長430nm、発振閾値電流40mAというレーザ特性が得られ、300MHz以上、最大周波数で1GHz程度の高周波電流の注入により光出力も十分変動されることが確認された。この結果、光ディスク用として本実施例の青色LD素子を用いると、データの読み出しエラーを防止することができ、光ディスク用として使用可能な青色LD素子が実現できた。

【0043】図3には、窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、量子井戸層の層数を1から5まで変化させたときの、閾値電流値と、光出力の変調が可能な注入電流の最大変調周波数の変化を表すグラフ図が示されている。各半導体レーザの構造は、量子井戸層の層数が異なること、及び量子井戸層数に応じて障壁層の層数が異なること以外は、本発明の第1実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子と同じである。この図からわかるように、発振閾値電流が低く、かつ、300MHz以上、例えば最大周波数で1GHz程度の高周波電流の注入でも光出力が十分変動されることが可能なものは、量子井戸層数が2である本発明の第1の実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子のみである。

【0044】なお、本実施例では、多重量子井戸構造活性層6を構成する量子井戸層14と障壁層15の層厚をともに5nmとしたが、これらの層厚が同一である必要はなく、異なっている場合もある。また2層の量子井戸層に均一に電子・正孔を注入するために、量子井戸層14と障壁層15の各層厚を10nm以下とすれば、本実施例にこだわらず、他の層厚でも同等の効果が得られる。

【0045】図4には、量子井戸層数が2層である窒化ガリウム系半導体レーザ素子において、障壁層の層厚を変化させたときの光出力の変調が可能な注入電流の最大変調周波数の変化を表すグラフ図が示されている。この

ときの半導体レーザの構造は、障壁層の層厚が異なること以外には第1実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子と同じである。この図から、障壁層の層厚を10nm以下とすれば、300MHz以上、最大1GHz程度の高周波電流の注入でも光出力が十分変動されることが可能であることがわかる。また、これは量子井戸層の場合も同様の結果であり、量子井戸層の層厚を10nm以下とすれば、300MHz以上、最大1GHz程度の高周波電流の注入でも光出力が十分変動されることが確認された。

【0046】また本実施例では、多重量子井戸構造活性層6に接するように $Al_{0.2}Ga_{0.8}N$ 蒸発防止層7を形成しているが、これは量子井戸層14が成長温度を上昇している間に蒸発してしまうことを防ぐためである。従って、量子井戸層14を保護するものであれば蒸発防止層7として用いることができ、他のAl組成を有する $AlGaIn$ 3元混晶や $GaN$ を用いてもよい。また、この蒸発防止層7に $Mg$ をドーピングしてもよく、この場合は $p-GaN$ ガイド層8や $p-Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 型クラッド層9から正孔が注入され易くなるという利点がある。さらに、量子井戸層14の $In$ 組成が小さい場合は蒸発防止層7を形成しなくても量子井戸層14は蒸発しないため、特に蒸発防止層7を形成しなくても、本実施例の窒化ガリウム系半導体レーザ素子の特性は損なわれない。

【0047】本実施例では、リジストライプ構造を形成して注入電流の狭窄を行っているが、電極ストライプ構造等の他の電流狭窄の手法を用いてもよい。また、本実施例では劈開によりレーザの共振器端面を形成しているが、サファイア基板は硬くて劈開にくい場合があるので、ドライエッチングにより共振器端面を形成することもできる。

【0048】さらに本実施例では絶縁体であるサファイアを基板として用いたため、エッチングにより露出した $n-GaN$ 型コンタクト層3の表面に $n$ 側電極12を形成しているが、 $n$ 型導電性を有する $SiC$ 、 $Si$ 、 $GaAs$ 等を基板に用いれば、この基板の表面に $n$ 側電極12を形成してもよい。また、 $p$ 型と $n$ 型の構成を逆にしても構わない。

【0049】(第2実施例)図5は本発明の第2実施例に係る半導体レーザ素子と駆動回路を示す回路図である。図5中に示される半導体レーザ素子16は、本発明の第1実施例で得られた量子井戸層数が2層である窒化ガリウム系半導体レーザ素子を用いている。高周波駆動回路17は、通常の半導体部品を用いて構成されるものであり、高い周波数で半導体レーザ17への注入電流を変動し、光出力を変調させるための半導体レーザの駆動回路である。本実施例では、注入電流の変調周波数を300MHzとした。第1実施例で得られた窒化ガリウム系半導体レーザ素子では、注入電流の最大変調周波数は

1GHz以上のものが得られており、300MHzの周波数でも光出力を十分変動させることができた。本実施例を光ディスク用の光源として用いると、半導体レーザの光出力が十分変動されているのでレーザ光のコヒーレント性を低下させることができ、ディスク面からのレーザ光の戻り光による雑音を低減することができた。その結果、エラー無しで光ディスクからのデータの読み出しを行うことが可能となった。

【0050】なお、本実施例では、注入電流の変調周波数を300MHzとしたが、レーザ光のコヒーレント性を低下させて、ディスク面からのレーザ光の戻り光による雑音を低減するような周波数であれば、最大周波数1GHz程度まで、他の変調周波数で窒化物半導体レーザを駆動しても構わない。

【0051】(第3実施例)図6は本発明の第3実施例に係る半導体レーザ素子と駆動回路を示す回路図である。図6中に示される半導体レーザ素子18は、本発明の第1実施例で得られた量子井戸層数が2層である窒化ガリウム系半導体レーザ素子を用いているが、リッジ構造を形成する際のストライプ幅と、 $p-Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 型クラッド層9のエッチングする深さを調整することによって、変調されていない一定電流を注入しても光出力が変調されている自励発振型の半導体レーザとなっている。ここでは、ストライプ幅を $3\mu m$ 、 $p-Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 型クラッド層9のエッチングの際の残し膜厚を $0.2\mu m$ とした。なお、これらのストライプ幅とエッチングの際の残し膜厚とは本具体例の値に限定されるものではなく、ストライプ幅として1乃至 $5\mu m$ 、 $p$ 型クラッド層9の残し膜厚としては $0.05$ 乃至 $0.5\mu m$ であればよい。このように作成された自励発振型の窒化ガリウム系半導体レーザ素子における光出力の変調周波数は、800MHzであった。

【0052】第3実施例に係る窒化ガリウム系半導体レーザ素子では、量子井戸層数を2層としたことにより、量子井戸層内に存在する電子と正孔の密度が変調されやすくなっている。従って、注入電流を変調して電子と正孔の密度を変調することによって光出力を変調するだけでなく、変調されていない一定電流の注入でも電子と正孔の密度が変調されて光出力が変調される自励発振型の半導体レーザの作製も容易にでき、高い周波数で光出力が変調されることが可能となった。

【0053】定電流駆動回路19は、通常の半導体部品を用いて構成されるものであり、一定電流を注入するための半導体レーザの駆動回路である。本実施例を光ディスク用の光源として用いると、半導体レーザの光出力が十分変動されているのでレーザ光のコヒーレント性を低下させることができて、ディスク面からのレーザ光の戻り光による雑音を低減することができた。その結果、エラー無しで光ディスクからのデータの読み出しを行うことが可能となった。

【0054】なお、本第3実施例で用いた窒化ガリウム系半導体レーザ素子18は、リッジ構造を形成する際のストライプ幅と、 $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 型クラッド層9をエッチングする深さとを調整することによって自励発振型の半導体レーザとしたが、通常のGaAs系半導体レーザ等で用いられているように、活性層の近傍に過飽和吸収層を設置して自励発振型の半導体レーザとしても構わない。

【0055】(第4実施例)図7は本発明の第4の実施例に係る窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子を示す断面図であり、図8は図7中のB部を拡大した断面図である。

【0056】この図において、21はc面を表面として有するサファイア基板、22はGaNバッファ層、23は $n\text{-Ga}_{0.95}\text{N}$ 型コンタクト層、24は $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 型クラッド層、25は $n\text{-Ga}_{0.95}\text{N}$ 型クラッド層、26は2層の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層34と1層の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層35とからなる多重量子井戸構造活性層、27は $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 蒸着防止層、28は $p\text{-Ga}_{0.95}\text{N}$ ガイド層、29は $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 型クラッド層、30は $p\text{-Ga}_{0.95}\text{N}$ 型コンタクト層、31はp側電極、32はn側電極である。

【0057】本実施例において、サファイア基板21の表面はa面、r面、m面等の他の面方位であっても構わない。また、サファイア基板に限らずSiC基板、スピネル基板、MgO基板、またはSi基板も用いることが出来る。特にSiC基板の場合はサファイア基板に比べて割開しやすいため、LED素子をチップ分割する作業が容易に行えるという利点がある。バッファ層22はその上に窒化ガリウム系半導体をエピタキシャル成長させることが出来るものであればGaNにこだわらず他の材料、例えばAlNやAlGaIn3元混晶を用いてもよい。

【0058】n型クラッド層24及びp型クラッド層29は、 $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 以外のA1組成を持つAlGaIn3元混晶や、単にGaNを用いてもよい。この場合A1組成を大きくすると活性層とクラッド層とのエネルギーギャップ差が大きくなり、キャリアが活性層に有効に閉じ込められて温度特性の向上が図れる。またキャリアの閉じ込め度が保持される程度でA1組成を小さくしていくと、クラッド層におけるキャリアの移動度が大きくなるため、発光ダイオード素子の素子抵抗を小さくできる利点がある。さらにこれらのクラッド層は微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよく、n型クラッド層24とp型クラッド層29とで混晶の組成が同一でなくても構わない。

【0059】ガイド層25と28は、そのエネルギーギャップが、多重量子井戸構造活性層26を構成する量子井戸層のエネルギーギャップとクラッド層24、29のエネルギーギャップの間の値を持つような材料であれば

GaNにこだわらず他の材料、例えばInGaIn、AlGaIn等の3元混晶やInGaAlIn等の4元混晶等を用いてもよい。またガイド層全体にわたってドナー又はアクセプターをドーピングする必要はなく、多重量子井戸構造活性層26層の一部のみをノンドープとしてもよく、さらにはガイド層全体をノンドープとしてもよい。この場合、ガイド層に存在するキャリアが少なくなり、自由キャリアによる光の吸収が低減されて、さらに光出力が向上するという利点がある。また、ガイド層25、28には、n型クラッド層24とp型クラッド層29からそれぞれ電子と正孔を多重量子井戸構造活性層26へ注入しやすくするという利点があるが、特にガイド層25、28を設けなくてもLED素子特性が大きく悪化するのではないので、ガイド層25、28はなくても構わない。

【0060】多重量子井戸構造活性層26を構成する、2層の $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層34と1層の $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層35は、必要な発光波長に応じてその組成を設定すればよく、発光波長を長くしたい場合は量子井戸層34のIn組成を大きくし、短くしたい場合は量子井戸層34のIn組成を小さくする。また量子井戸層34と障壁層35は、InGaIn3元混晶に微量に他の元素を含んだ4元以上の混晶半導体でもよい。さらに障壁層35は単にGaNを用いてもよい。

【0061】次に、図7と図8を参照して上記窒化ガリウム系半導体発光ダイオードの作製方法を説明する。以下の説明ではMOCVD法(有機金属気相成長法)を用いた場合を示しているが、GaNをエピタキシャル成長できる成長法であればよく、MBE法(分子線エピタキシャル成長法)やHDVPE(ハイドライド気相成長法)等の他の気相成長法を用いることもできる。

【0062】まず所定の成長炉内に設置された、c面を表面として有するサファイア基板21上に、TMGと $\text{NH}_3$ を原料に用いて、成長温度 $550^\circ\text{C}$ でGaNバッファ層22を $35\text{nm}$ 成長させる。

【0063】次に成長温度を $1050^\circ\text{C}$ まで上昇させて、TMGと $\text{NH}_3$ 、及び $\text{SiH}_4$ を原料に用いて、厚さ $3\mu\text{m}$ のSiドープ $n\text{-Ga}_{0.95}\text{N}$ 型コンタクト層23を成長する。さらに続けてTMAを原料に加え、成長温度は $1050^\circ\text{C}$ のままで厚さ $0.3\mu\text{m}$ のSiドープ $n\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 型クラッド層24を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は $1050^\circ\text{C}$ のままで厚さ $0.05\mu\text{m}$ のSiドープ $n\text{-Ga}_{0.95}\text{N}$ 型クラッド層25を成長する。

【0064】次に、成長温度を $750^\circ\text{C}$ に下げ、TMGと $\text{NH}_3$ 、及びTMIを原料に用いて、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層(厚さ $3\text{nm}$ )34、 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 障壁層(厚さ $5\text{nm}$ )35、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子井戸層(厚さ $3\text{nm}$ )34を順次成長することにより多重量子井戸構造活性層(トータルの厚さ $11\text{nm}$ )26を作

成する。さらに続けてTMGとTMAとNH<sub>3</sub>を原料に用いて、成長温度は750℃のままで厚さ10nmのAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層27を成長する。

【0065】次に、再び成長温度を1050℃に上昇して、TMGとNH<sub>3</sub>及びCp<sub>2</sub>Mgを原料に用いて、厚さ0.05μmのMgドープp-GaNガイド層28を成長する。さらに続けてTMAを原料に加え、成長温度は1050℃のままで厚さ0.3μmのMgドープp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層29を成長する。続けて、TMAを原料から除いて、成長温度は1050℃のままで厚さ0.2μmのMgドープp-GaNp型コンタクト層30を成長して、窒化ガリウム系エピタキシャルウエハーを完成する。

【0066】その後、このウエハーを800℃の窒素ガス雰囲気中でアニールして、Mgドープのp型層を低抵抗化する。

【0067】さらに通常のフォトリソグラフィとドライエッチング技術を用いて、LED素子作製のために所定の領域に、p-GaNp型コンタクト層30の最表面から、n-GaNn型コンタクト層23が露出するまでエッチングを行う。

【0068】続いて、p-GaNp型コンタクト層30の表面にニッケルと金からなるp側電極31を形成し、エッチングにより露出したn-GaNn型コンタクト層23の表面にチタンとアルミニウムからなるn側電極32を形成して、窒化ガリウム系LEDウエハーを完成する。

【0069】その後、このウエハーを個々のチップに分割する。そして、各チップをステムにマウントし、ワイヤボンディングにより各電極とリード端子とを接続して、窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子を完成する。

【0070】以上のようにして作製された青色LED素子は、順方向電流20mAで、発光波長430nm・光出力6mWという発光特性が得られる。また図9に示されるように、電流-光出力特性は高い注入電流においても光出力は飽和することなく、従来のLED素子に比べて特性が改善された。

【0071】なお、本実施例では、多重量子井戸構造活性層26を構成する量子井戸層34と障壁層35の層厚をそれぞれ3nm及び5nmとしたが、これらの層厚は、2層の量子井戸層に均一に電子・正孔を注入するために、量子井戸層34と障壁層35の各層厚を10nm以下とすれば、本実施例にこだわらず、他の層厚でも同等の効果が得られる。

【0072】また本実施例では、多重量子井戸構造活性層26に接するようにAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N蒸発防止層27を形成しているが、これは量子井戸層34が成長温度を上昇している間に蒸発してしまうことを防ぐためである。従って、量子井戸層34を保護するものであれば蒸

発防止層27として用いることができ、他のAl組成を有するAlGaInN系混晶やGaNを用いてもよい。また、この蒸発防止層27にMgをドーピングしてもよく、この場合はp-GaNガイド層28やp-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Np型クラッド層29から正孔が注入され易くなるという利点がある。さらに、量子井戸層34のIn組成が小さい場合は蒸発防止層27を形成しなくても量子井戸層34は蒸発しないため、特に蒸発防止層27を形成しなくても、本実施例の窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子の特性は損なわれない。

【0073】

【発明の効果】上述したように本発明による窒化ガリウム系半導体レーザ素子においては、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる多重量子井戸構造活性層における量子井戸層の層数を2とすることによって、すべての量子井戸層に電子と正孔とを均一に分布させるようにした。この結果、量子井戸層に注入された電子と正孔が効率よく再結合するため発光効率が向上して発振閾値電流値を低減させることができた。さらに、再結合によって電子・正孔が消滅した量子井戸層内への電子と正孔の注入が効果的に行われるので、量子井戸層内に存在する電子と正孔の密度が効果的に変動され、その結果、光出力も変動されることが可能となり、光ディスク用として使用可能な、データの読み出し時にエラーを発生しない窒化ガリウム系半導体レーザ素子を実現した。

【0074】また、本発明による窒化ガリウム系半導体レーザ素子と1GHz程度までの高周波電流を注入する駆動回路を組み合わせて、光ディスク用としてデータの読み出し時にエラーを発生しない半導体レーザ光源装置を提供できる。

【0075】また、本発明による窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子においては、少なくともインジウムとガリウムを含む窒化物半導体よりなる多重量子井戸構造活性層における量子井戸層の層数を2とすることによって、注入された電子と正孔を2つの量子井戸層に均等に分割し、量子井戸層1層当りに存在する電子と正孔の密度を低減したことにより、運動量空間内で電子や正孔の分布を低減できた。その結果、電流-光出力特性においても高い注入電流においても光出力は飽和することなく、高輝度な窒化ガリウム系半導体発光ダイオード素子を実現された。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例に係る半導体レーザ素子を示す断面図である。

【図2】図1のA部を拡大した断面図である。

【図3】第1実施例における閾値電流値の量子井戸層数依存性、及び光出力の変調可能な、注入電流の最大変調周波数の量子井戸層数依存性を示すグラフ図である。

【図4】同、光出力の変調可能な、注入電流の最大周波

数の障壁層の厚さ依存性を示すグラフ図である。

【図5】本発明の第2実施例に係る半導体レーザ素子と駆動回路を示す回路図である。

【図6】本発明の第3実施例に係る半導体レーザ素子と駆動回路を示す回路図である。

【図7】本発明の第4実施例に係る半導体発光ダイオード素子を示す断面図である。

【図8】図7のB部を拡大した断面図である。

【図9】本発明の第4実施例に係る半導体発光ダイオード素子と従来の半導体発光ダイオード素子の、それぞれの電流-光出力特性を示すグラフである。

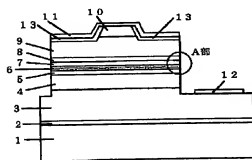
【図10】従来の青色LEDの構造例を示す断面図である。

【図11】従来の青色LEDの構造例を示す断面図である。

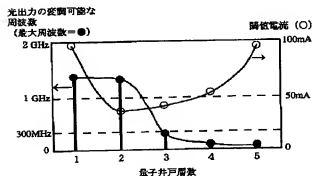
【符号の説明】

- 3 n-GaN型コンタクト層
- 4 n-Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N型クラッド層
- 5 n-GaNガイド層
- 4、24 n-AlGaIn型クラッド層
- 6、25 多重量子井戸構造活性層
- 8、28 p-GaNガイド層
- 9、29 p-AlGaIn型クラッド層
- 14、34 InGaIn量子井戸層
- 15、35 InGaIn障壁層

【図1】



【図3】

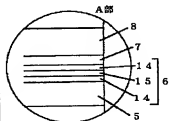


【図5】

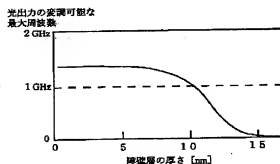


【図6】

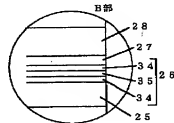
【図2】



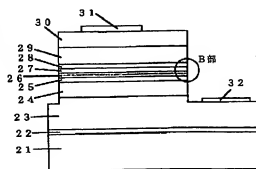
【図4】



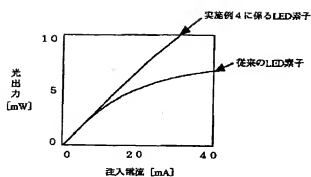
【図8】



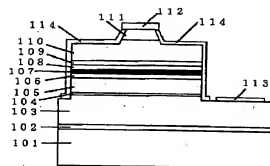
【図7】



【図9】



【図10】



【図11】

